

PAT-NO: JP406148001A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 06148001 A

TITLE: OPTICAL FIBER COMPOSITE POWER CABLE

PUBN-DATE: May 27, 1994

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

AMANO, KAZUO

YOSHIDA, SHOTARO

WATANABE, KAZUO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

FUJIKURA LTD

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP04301207

APPL-DATE: November 11, 1992

INT-CL (IPC): G01K011/12, G01R031/08 , G02B006/44 , H01B007/32 ,
H01B011/22

US-CL-CURRENT: 374/159

ABSTRACT:

PURPOSE: To enable early and positive detection of ground fault of cable by laying an optical coated fiber in the longitudinal direction of shielding layer of a power cable while winding on the outer periphery of an insulator at a pitch specific times as long as the outer diameter of the shielding layer.

CONSTITUTION: Multiple copper strands are wound spirally on the outer periphery of an outer semiconductor layer 5 composing a power cable 1 thus providing a shielding layer 8 and a housing 9 of plastic, for example, is applied thereto. About four(one or more) optical coated fibers 7 are laid in the longitudinal direction at a part of the shielding layer 8. The fibers 7 are wound spirally at a pitch of 2.5-20 times of the outer diameter of the shielding layer 8. The coated fibers 7 are connected with a distributed temperature measuring system and pulse light is transmitted thereon in order to measure variation of the intensity of Raman scattering light with time. This constitution allows continuous measurement of temperature distribution in the longitudinal direction of cable thus allowing detection of temperature rise at the time of ground fault of the cable.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-148001

(43)公開日 平成6年(1994)5月27日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 K 11/12		F 7267-2F		
G 0 1 R 31/08		7256-2G		
G 0 2 B 6/44	3 5 1	9119-2K		
H 0 1 B 7/32		A 7244-5G		
11/22		7244-5G		

審査請求 有 請求項の数2(全 7 頁)

(21)出願番号 特願平4-301207

(22)出願日 平成4年(1992)11月11日

(71)出願人 000005186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(72)発明者 天野 一夫

東京都江東区木場一丁目5番1号 株式会
社フジクラ内

(72)発明者 吉田 昭太郎

東京都江東区木場一丁目5番1号 株式会
社フジクラ内

(72)発明者 渡辺 和夫

東京都江東区木場一丁目5番1号 株式会
社フジクラ内

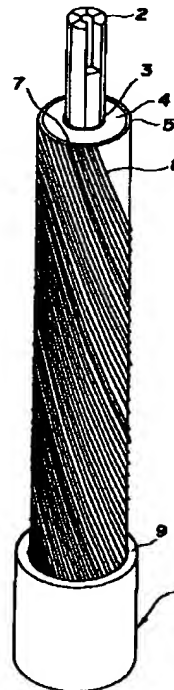
(74)代理人 弁理士 藤本 博光

(54)【発明の名称】 光ファイバ複合電力ケーブル

(57)【要約】

【目的】 ラマン散乱光の強度に基づいて長手方向の温度分布が測定可能な光ファイバを複合した光ファイバ複合電力ケーブルにおいて、許容電流管理のための温度分布測定のみならず、地絡事故における局所的な温度上昇も検出可能とする。

【構成】 電力ケーブル遮蔽層の一部に設けた光ファイバ心線を、遮蔽層または絶縁体外径の2.5～20倍のピッチで絶縁体外周に巻き付ける。これにより、小規模な地絡事故の局所的な温度上昇(ホットスポット)や、短時間で電流遮断されて温度上昇が少ない地絡事故でも、事故の検出や、事故点の評定が短時間で行える。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ケーブル中心導体を絶縁体で絶縁し、該絶縁体の外周に外部導体を含む遮蔽層を設け、該遮蔽層の外周に外被を設けてなる電力ケーブルにおいて、前記遮蔽層の一部にその長手方向に沿って光ファイバ心線を設け、該光ファイバ心線を前記遮蔽層外径の2.5～20倍のピッチで前記絶縁体外周に巻き付け、前記光ファイバ心線のラマン散乱光強度に基づいて電力ケーブルの事故を検知可能であることを特徴とする光ファイバ複合電力ケーブル。

【請求項2】 ケーブル中心導体を絶縁体で絶縁し、該絶縁体の外周に外被を設けてなる電力ケーブルにおいて、前記外被の一部にその長手方向に沿って光ファイバ心線を設け、該光ファイバ心線を前記絶縁体外径の2.5～20倍のピッチで前記絶縁体外周に巻き付け、前記光ファイバ心線のラマン散乱光強度に基づいて電力ケーブルの事故を検知可能であることを特徴とする光ファイバ複合電力ケーブル。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、ケーブルの温度分布を計測する光ファイバを複合した光ファイバ複合電力ケーブルに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、都市部における架空ケーブルは、電力ケーブル・通信ケーブルを問わず交通や美観の点から地中化が進められている。特に架空電力ケーブルはビル街における消火活動の支障となることもあり、地中化への要請が強くなされている。このため、最近の主要都市における電力ケーブルの地中化は著しく進行している。ところが電力ケーブルを地中化すると、ケーブル事故が発生した場合に事故復旧に多大の時間を要するので、電力ケーブルを監視し異常を早期に検出して、併設他ケーブルの損傷を防止するなどの安全対策の必要性が高まっている。また、事故発生後のケーブル故障点の標定を短時間でを行うことも重要となっている。

【0003】また、一般に電力ケーブルは電流量に対して余裕をもって、設計・敷設されることが多く、最近の電力需要の急増に対応して、実際のケーブル運用状態の温度を監視しながら許容温度以下で送電可能な電流を管理することが重要となっている。以上のような背景から、電力ケーブルの許容電流を管理するため、およびケーブル異常点探査のために、温度分布検出機能を有する光ファイバケーブルを電力ケーブルと複合した光ファイバ複合電力ケーブルが用いられるようになってきている。

【0004】この光ファイバを使用した温度分布計測にはOTDR (Optical Time Domain Reflectometry) 法が用いられており、その温度分布計測の原理を図6のラマン散乱の説明図を用いて説明する。

2

【0005】光ファイバに入射する光パルスの周波数を ω_0 とし、ファイバ構成物質 (例えばSiO₂) のエネルギー準位の基底レベルと励起レベルとの差 ΔE に相当する光の周波数を ω_f ($\omega_f = \Delta E / h$, h : プランク定数) とする。光ファイバに強い光パルスを入射すると、入射した光子と光ファイバ構成物質との間でエネルギーの授受が行われ、入射光 (ω_0) と同じ周波数のレイリー散乱光に混じって、ラマン散乱光と呼ばれる入射光より高い周波数 ($\omega_0 + \omega_f$) や低い周波数 ($\omega_0 - \omega_f$) の光が観測される。

【0006】これは、光ファイバに入射した光子 (ω_0) が基底状態のファイバ構成物質に吸収され、光子が放出されるときに物質が元の基底状態よりエネルギー準位の高い励起状態になるときにストークス光 ($\omega_0 - \omega_f$) が放出され、この逆の場合に反ストークス光 ($\omega_0 + \omega_f$) が放出されることによる。

【0007】このラマン散乱光の周波数偏位 ω_f は、前記のように物質固有の値で熱エネルギー準位の差 ΔE に比例するもので、石英光ファイバでは約13 T (10¹²) Hzである。

【0008】このストークス光、反ストークス光の強度は図7に示す温度依存性があり、このうち反ストークス光の温度依存性が比較的大きい。分布型光ファイバ温度センサは、この光ファイバ中で散乱され入射光の進行方向とは逆方向へ伝わる後方ラマン散乱光のストークス光と反ストークス光の強度比の時間変化を観測することによって、光の強度比を温度に、パルス光の入射から反射光の受光までの時間を入射点から反射点までの距離に換算してケーブルの長手方向の温度分布を測定するものである。

【0009】次に、温度計測システムの構成について説明する。図5は光ファイバを用いた分布型温度計測システムのブロック図である。同計測システムは、大別すると光ファイバ心線7、測定ユニット20、ディジタル平均化ユニット29、及び表示部を含むコンピュータ30とからなる。

【0010】光ファイバ心線は前記の原理による温度検知と、この温度検知情報の伝送経路としての機能をもつ。測定ユニット20は、光学ユニット21と光電変換ユニット24とからなり、光学ユニット21はディジタル平均化ユニット29からのトリガ信号を受けて、単色光のパルス光源22 (例えばレーザダイオードなど) を発光させ、分光デバイス23を通じて光ファイバ心線7へ入射する。また、光学ユニット21は光ファイバ心線7からの反射光を分光デバイス23でストークス光と反ストークス光に分離する。光電変換ユニット24は、この分離されたストークス光と反ストークス光をそれぞれ受光素子25、26 (例えばシリコン・アバランシ・フォトダイオード; Si-APD) で電気信号に変換後、増幅器27、28で増幅してディジタル平均化ユニット

29へ送る。

【0011】デジタル平均化ユニット29は、上記の測定を高速度で多数回（例えば 10^9 回）行い、この測定信号をデジタル信号に変換して平均化処理によりノイズを除去するものである。コンピュータ30は、測定全体の制御を行うと共に、デジタル平均化ユニット29からデータを吸い上げて、温度と距離に変換してディスプレイ画面に表示したりプリントアウトする。

【0012】前記パルス光源22から光ファイバ心線7に入射したパルス光が、受光素子25、26に到達するまでの時間 t は、

$$t = 2L_0 / v$$

（ここで、 L_0 はパルス光の入射端から後方散乱を生じた地点までの光ファイバ心線7の長さ、 v は光ファイバ中の光速である。）と表されるので、デジタル平均化ユニット29がパルス光源22にトリガをかけてパルス光を発光させてから受光素子25、26が検出信号を出力するまでの時間 t を計測することにより、後方散乱光を生じた位置を標定することができ、その結果、電力ケーブル1の温度異常の発生位置を求めることが可能となる。

【0013】以上説明した光ファイバ分布型温度計測システムは既に商品化されており本願出願人から「光ファイバ分布型温度センサ DFS-1000型」として販売されている。このシステムの測定性能例を以下に示す。

温度測定精度	$\pm 1^\circ\text{C}$
温度測定範囲	$-20 \sim +150^\circ\text{C}$
測定可能距離	2 km
距離分解能	1 m
測定所要時間	約10秒

また、図8に前記システムのラマン後方散乱の測定例を、図9に図8の測定例のデータを温度に変換した例を示す。

【0014】さらに、以上のような光ファイバ分布型温度計測システムに適応する光ファイバと電力ケーブルとを複合した光ファイバ複合電力ケーブルが、本願出願人より既に特許出願されている（特願昭63-286698及び特願昭63-296101；「電力ケーブル及びその温度分布測定方法」）。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、斯かる従来技術にあっては、ケーブルの許容電流を管理する目的の温度分布計測としては満足すべきものであったが、ケーブル地絡事故等のケーブルの比較的短い区間で発生し、しかもケーブル軸回りに対して非回転対称な態様で発生する局部的温度上昇（ホットスポット）に対しては十分な検出能力を有していないという問題点があった。以上の点に鑑み、本発明は、地絡事故を早期にしかも確実に検出することができるような光ファイバ複合電力ケ

ーブルを提供することを課題とするものである。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明の光ファイバ複合電力ケーブルは、ケーブル中心導体を絶縁体で絶縁し、該絶縁体の外周に外部導体を含む遮蔽層を設け、該遮蔽層の外周に外被を設けてなる電力ケーブルにおいて、前記遮蔽層の一部にその長手方向に沿って光ファイバ心線を設け、該光ファイバ心線を前記遮蔽層外径の2.5～20倍のピッチで前記絶縁体外周に巻き付け、前記光ファイバ心線のラマン散乱光強度に基づいて電力ケーブルの事故を検知可能であることにより、前記課題を解決するものである。

【0017】また、本発明は、ケーブル中心導体を絶縁体で絶縁し、該絶縁体の外周に外被を設けてなる電力ケーブルにおいて、前記外被の一部にその長手方向に沿って光ファイバ心線を設け、該光ファイバ心線を前記絶縁体外径の2.5～20倍のピッチで前記絶縁体外周に巻き付け、前記光ファイバ心線のラマン散乱光強度に基づいて電力ケーブルの事故を検知可能である。

【0018】

【作用】本発明者は、前記問題点を解決するための手掛かりとして、図10に示すような電力ケーブルの地絡事故をシミュレーションする方法を開発した（平成4年電気学会全国大会予稿集1444「温度検知によるケーブル故障点評定方法の開発」、天野他）。この方法は、電力ケーブル製造過程で絶縁体に欠陥（0.1 mmφの導体）を埋め込んだ試験用電力ケーブルを作成し、この試験用電力ケーブルに高電圧を印加して、地絡事故時の電力ケーブルの温度分布を測定するものである。この温度分布測定により、光ファイバ心線を遮蔽層または絶縁体外径の2.5～20倍のピッチで絶縁体外周に巻き付ければ、種類の電圧階級および種類の公称断面積に応じて精密なケーブル温度分布測定ができることを見いだしたものである。

【0019】本発明においては、電力ケーブルの遮蔽層または外被に設けた光ファイバ心線を、遮蔽層または絶縁体外径の2.5～20倍のピッチで絶縁体外周に巻き付け、光ファイバにパルス光を入射したときの後方ラマン散乱光のストークス光と反ストークス光との強度比の時間変化を測定することにより、ケーブルの短い区間のケーブル中心軸に対して非対称な局部的温度上昇を検知して、電力ケーブルの地絡事故を早期発見すると共に、ケーブル端末部から事故発生地点までの距離の算出が可能となり、事故発生地点の標定ができる。

【0020】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の一実施例を説明する。図2に本発明の第一実施例による光ファイバ複合電力ケーブルの断面図を示す。同図に示すように、光ファイバ複合電力ケーブル1は銅素線を複数条撚り合わせて各分割導体を構成したケーブル中心導体2の外周に

5

内部半導電層3、架橋ポリエチレン絶縁層(絶縁体)4、外部半導電層5が順次設けられ、通常内部半導電層3、ポリエチレン絶縁層4及び外部半導電層5は同時押出法により成形され、内部半導電層3とポリエチレン絶縁層4との間、並びに架橋ポリエチレン絶縁層4と外部半導電層5との間は一体化されている。

【0021】そして、外部半導電層5の外周には多数本の銅素線の螺旋巻きにより遮蔽層8が設けられ、その上にプラスチック、金属等からなるケーブルシース(外被)9が被覆されている。

【0022】また、遮蔽層8の一部にはその長手方向に沿って光ファイバ心線7が周方向に4本設けられており、この光ファイバ心線7は図3に示すように光ファイバ素線7aを銅、アルミニウム、ステンレス等の金属層7cで被覆し、金属層7cと光ファイバ素線7aとの間隙に、アルミナ(Al_2O_3)等のセラミックパウダーまたはタルクパウダー等の粉末潤滑剤7bを封入する。

【0023】尚、本第一実施例では、光ファイバ心線7を絶縁層4の外周に4本設けたが、これに限らず少なくとも一本以上設けたものであってよい。

【0024】図1は上記第一実施例の光ファイバ複合電力ケーブル1のケーブルシース9を除去し、遮蔽層8の螺旋巻きの形状を示す部分分解図である。遮蔽層8の一部である光ファイバ心線7の螺旋巻きのピッチは、本実施例では遮蔽層8の外径の8倍としているが、これに限定されるものではない。

【0025】以上のようにして電力ケーブルに複合された光ファイバにより、従来技術で述べた図5の分布型温度計測システムに接続して、光ファイバにパルス光を照射させラマン散乱光の強度の時間変化を測定することにより、ケーブル長手方向における連続的な温度分布を測定することができ、ケーブル地絡事故における温度上昇を検出できる。

【0026】次に、図4に本発明の第二実施例による光ファイバ複合電力ケーブル1Aの断面図を示し、前記第一実施例と同一部分には同一の符号を付して説明する。本第二実施例では図2に示す電力ケーブル1の絶縁層4の外周に図3に示す光ファイバ心線7を設けて、この光ファイバ心線7を絶縁層4の外周に螺旋巻に巻き付け、その外周に外被9を設けて光ファイバ複合電力ケーブル1Aを構成したものである。この光ファイバ心線7の巻き付けピッチは絶縁層4の外径の2.5~20倍の間で任意の値でよい。この光ファイバ複合電力ケーブル1Aも第一の実施例と同様に図5の分布型温度計測システムに接続して、ケーブル長手方向における連続的な温度分布を測定することができ、ケーブル地絡事故における温度上昇を検出できる。以上、好ましい実施例を説明したが、これは発明の範囲を限定するものではない。発明の範囲は前記請求の範囲によってのみ限定されるべきである。以上の説明から発明の精神、範囲に含まれる多くの

6

変更が当業者には明らかであろう。

【0027】

【発明の効果】以上説明したとおり、本発明においては、光ファイバ複合電力ケーブルの光ファイバ心線を、遮蔽層外径または絶縁層外径の2.5~20倍のピッチで遮蔽層または絶縁層の外周に螺旋巻に巻き付けることにより、光ファイバにパルス光を照射したときの後方ラマン散乱光のストークス光と反ストークス光との強度比の時間変化を測定して、ケーブルの短い区間のケーブル中心軸に対して非対称な局部的温度上昇を検知し、電力ケーブルの地絡事故を早期に発見することができると共に、ケーブル端末部から事故発生地点までの距離の算出が可能となり、事故発生地点の標定ができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の第一実施例の光ファイバ複合電力ケーブルの部分分解図である。

【図2】図2は、本発明の第一実施例の光ファイバ複合電力ケーブルの断面図である。

20 【図3】図3は、光ファイバ心線の拡大断面図である。

【図4】図4は、本発明の第二実施例の光ファイバ複合電力ケーブルの断面図である。

【図5】図5は、分布型温度計測システムのブロック図である。

【図6】図6は、ラマン散乱原理の説明図である。

【図7】図7は、ラマン散乱光強度の温度依存性を示す図である。

【図8】図8は、ラマン散乱光強度の測定例である。

30 【図9】図9は、ラマン散乱光強度の測定による温度測定例である。

【図10】図10は、ケーブル地絡疑似障害試験法の概要を示す図である。

【符号の説明】

- 1 光ファイバ複合電力ケーブル(第一の実施例)
- 1A 光ファイバ複合電力ケーブル(第二の実施例)
- 2 ケーブル中心導体
- 3 内部半導電層
- 4 架橋ポリエチレン絶縁層
- 5 外部半導電層
- 7 光ファイバ心線
- 7a 光ファイバ素線
- 7b 粉末潤滑剤
- 7c 金属層
- 8 遮蔽層
- 9 ケーブルシース(外被)
- 20 測定ユニット
- 21 光学ユニット
- 22 パルス光源
- 23 分光デバイス
- 24 光電変換ユニット

50

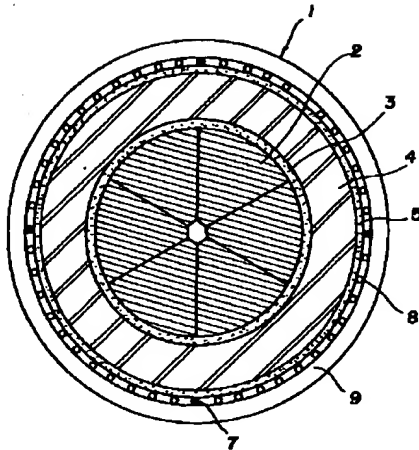
25, 26 受光素子
27, 28 Amp (増幅器)

29 デジタル平均化ユニット
30 コンピュータ

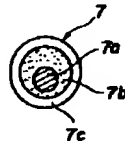
【図1】



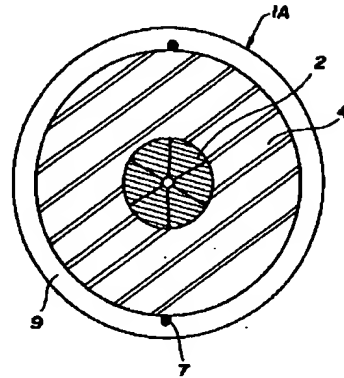
【図2】



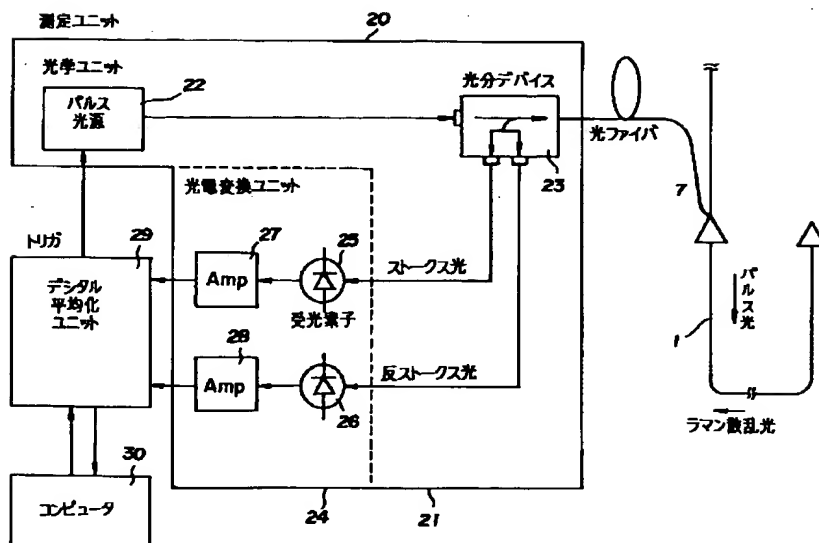
【図3】



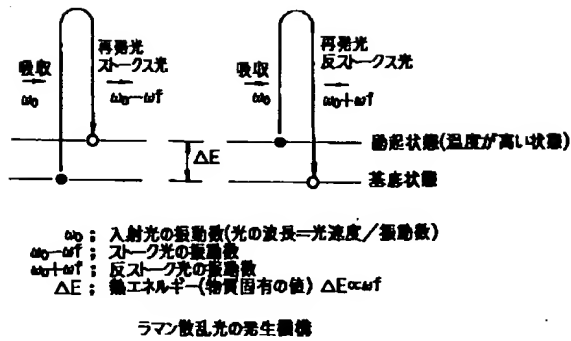
【図4】



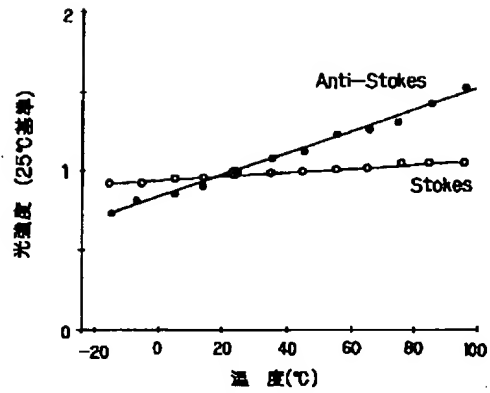
【図5】



【図6】



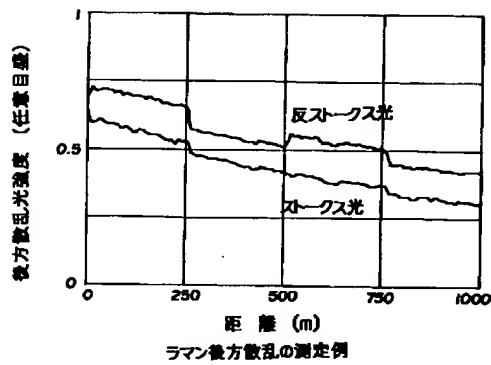
【図7】



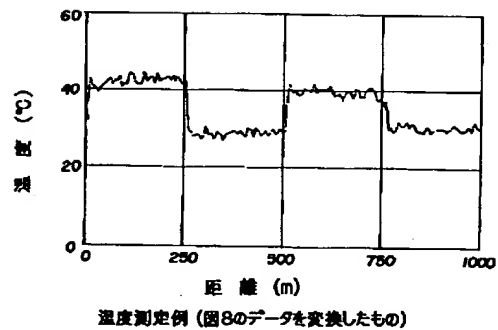
ラマン散乱光強度の温度依存性

	温度変化率
Stokes光	0.1%/℃
Anti-Stokes光	0.7%/℃

【図8】



【図9】



【図10】

